文章编号:1002-2082(2010)04-0584-05

基于Matlab的同态滤波器的优化设计

马 奎,张成义
(南京信息工程大学 物理系,江苏 南京 210044)

摘 要:介绍同态滤波器的基本原理,基于Matlab软件,设计了适用的同态滤波器模型,并给出了其表达式参数,在此基础上,将同态滤波方法应用到彩色图像的光照补偿和对比度增强中。结果表明:经处理后的图像,局部对比度增强效果明显,较好地保持了图像的原始面貌,取得了预期的理想滤波效果。基于Matlab的同态滤波,能更好地适合人眼的视觉特性,提供了图像分析与判读的一种新方法。

关键词:同态滤波;光照补偿;图像对比度
中图分类号:TN911.7;TP391.41 **文献标志码**:A

Optimal design of homorphic filter based on Matlab

MA Yan, ZHANG Cheng-yi
(Department of Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The basic principle of the homomorphic filter is introduced. A homomorphic filter model and parameter expression was established by using Matlab. On this basis, the homomorphic filtering method was applied to the brightness of color image and image contrast enhancement. It is shown that the method performs well in enhancing the local contrast of an image while maintaining its global appearance, and the expected filter effect is achieved. Experiments prove that the method is suitable for human visual observation to conduct image analysis and judge.

Key words: homomorphic filter; illumination compensation; image contrast

引言

当光照不均匀时,图像上照度暗的部分细节就难以分辨清楚。但是,利用光照反射模型的同态滤波方法,可以消除光照不足带来的影响,同时又不损失图像的细节。同态滤波增强技术是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种图像处理方法,利用压缩灰度范围和增强对比度来改善图像。目前,同态滤波技术广泛应用于光照补偿、对比度增强、去雾处理、图像恢复、灰度修正等诸多图像处理系统中。本文简要介绍同态滤波原理,通过对光照场的频谱分析,设计了一种同态滤波器的参数选取方法,并基于Matlab软件,对彩色图像进行光照补偿和对比度增强。

1 同态滤波图像的形成

频率域图像增强就是数字滤波器设计,根据不同要求可以设计出各种低通、高通、带通滤波器。从图像成形的过程来看,可以将图像看成是照射光和反射光的乘积,经傅里叶变换后,两者是卷积关系而难以分开。同态滤波正好解决了这个问题,其图

收稿日期:2009-09-13; **修回日期**:2010-05-04
基金项目:南京信息工程大学基金项目(BJG008021)
作者简介:马 奎(1988—),男,山东滕州人,现为中科院安徽光机所硕士研究生,主要从事光学图像处理方面的研究。
论文联系人:张成义,E-mail:dzcyl@163.com

像增强效果十分明显。

图像从物理过程中产生时,它的值正比于物理源的辐射能量,因此,图像$f(x,y)$的能量一定是非零且有限的。函数$f(x,y)$可由2个分量来表示:这2个分量相应地称为入射分量和反射分量,分别用$i(x,y)$和$r(x,y)$表示。那么最后形成的数字图像$f(x,y)$可表示为

$$f(x,y)=i(x,y)r(x,y) \tag{1}$$

采用(1)式的成像模型不能直接对照射和反射的频率部分分别进行操作,因为2个函数乘积的傅里叶变换是不可分的。即$F(f(x,y))\neq F(i(x,y))F(r(x,y))$。反射分量$\dot{r}(x,y)$反映图像的内容,它随图像细节的不同在空间作快速变化,是频域的高频分量。入射分量$i(x,y)$在空间上常具有缓慢变化的特点,是频域中的低频分量。采用同态分析方法,就是先对上式两边取对数,把2个相乘的分量变为2个相加的分量,它们分别代表了图像的高频分量和低频分量。假设

$$z(x,y)=\ln f(x,y)=\ln i(x,y)+\ln r(x,y) \tag{2}$$

两边取傅里叶变换,那么有

$$F(z(x,y))=F(\ln i(x,y))+F(\ln r(x,y)) \tag{3}$$

即 $$Z(u,v)=F_i(u,v)+F_r(u,v) \tag{4}$$

(4)式表明,照明分量的频谱可以与反射分量的频谱分离开。根据它们反映的空间变化特征,照明分量的频谱基本上位于低频部分,反射分量的频谱位于高频部分。这时,增强技术都可用于求解这2个分量。典型的同态滤波法是:原图先经对数变换和快速傅里叶变换,变为频率域中的2个分离的变量,然后根据不同需要,选用不同的传递函数实现不同的增强。经过频域处理的图像再经快速傅里叶逆变换及指数变换,就可得到增强的图像。

用滤波函数$H(u,v)$对$Z(u,v)$进行处理,那么从(4)式可得:

$$S(u,v)=H(u,v)Z(u,v)=H(u,v)F_i(u,v)+H(u,v)F_r(u,v) \tag{5}$$

这样,选择适当的滤波函数$H(u,v)$就可以对图像中照明分量的反射分量进行不同程度的处理,使照度不均匀的图像获得良好的改善。滤波后做反变换,得:

$$s(x,y)=F^{-1}(S(u,v))=F^{-1}(H(u,v)\times F_i(u,v)+H(u,v)F_r(u,v)) \tag{6}$$

逆傅里叶变换到空域,令

$$i'(x,y)=F^{-1}(H(u,v)F_i(u,v))$$
$$r'(x,y)=F^{-1}(H(u,v)F_r(u,v)) \tag{7}$$

则$s(x,y)=i'(x,y)+r'(x,y)$。

可见,增强后的图像是由对应照度分量与反射分量两部分叠加而成。

再将上式两边取指数,最后取对数得到滤波后图像的同态滤波函数:

$$g(x,y)=e^{s(x,y)}=e^{i'(x,y)}e^{r'(x,y)}=i_0(x,y)r_0(x,y) \tag{8}$$

(8)式可分别用于求解照度分量和反射分量。

利用照明反射模型处理一幅图像属于同态滤波技术,同态滤波器$H(u,v)$滤波示意图如图1所示。同态滤波最关键的是用(4)式将照射分量和反射分量分开,用同态滤波器对其进行处理。

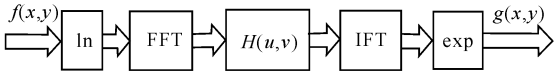

图1 同态滤波过程

Fig. 1 Processing of homomorphic filter

图像照射分量通常以空间域的慢变化为特征,反射分量往往引起突变,特别是在物体的边缘部分。这些特性使得图像的低频部分跟照射相联系,而高频部分和反射相联系。

一幅图像的照明分量通常用慢变化来表征,而反射分量则倾向于急剧变换。所以图像取对数后得到傅里叶变换的低频部分主要对应照度分量,而高频部分主要对应反射分量。适当选择滤波器函数将会对傅里叶变换中的低频部分和高频部分产生不同的响应,处理结果会使像元灰度的动态范围或图像对比度得到增强。

2 同态滤波函数的确定

以R_h代表高频增益,R_l代表低频增益,$D(u,v)$表示频率(u,v)距滤波器中心(u_0,v_0)的距离。传统的同态滤波函数如图2所示。当$R_h>1$,$R_l>1$时,该滤波函数能同时抑制照明分量和增强反射分量,从而满足动态范围压缩和对比度增强两种效果要求。处理目的不同,可构造不同的滤波器。

频域内经常使用的高通滤波器为高斯型高通滤波器,滤波函数为

$$H(u,v)=1-\exp[-D(u,v)/2D_0^{2n}] \tag{9}$$

利用(9)式可以构造一个高通滤波器对图像做

增强处理。对高斯型高通滤波器稍加修改,可得以下高斯型高通滤波函数:

$$H(u,v)=(R_h-R_l)[1-\mathrm{e}^{-c(D(u,v)/D_0)^{2n}}]+R_l \tag{10}$$

$$D(u,v)=[(u-M/2)^2+(v-N/2)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

式中:D_0 是 u_0 和 v_0 为0时的 $D(u,v)$ 值,表示截止频率。对于一幅 $M\times N$ 的图像,傅里叶变换后的中心在 $(M/2,N/2)$,因此,(10)式需做平移处理。

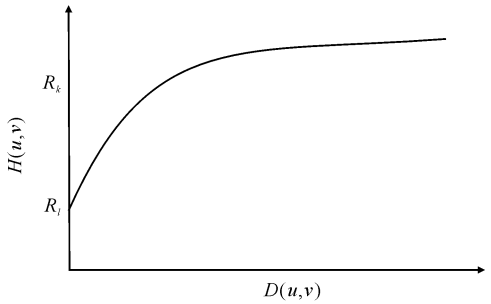

图2 传统的同态滤波函数

Fig. 2 Classical homomorphic filter function

图3是利用照明反射模型处理图像时常用的一种滤波函数剖面。可以看出,能否达到理想的增强效果并取得压缩灰度动态范围的目的,取决于传递函数的选择。传统的巴特沃思高通滤波器与同态滤波的传递函数十分相似,巴特沃思高通滤波的传递函数为

$$H(u,v)=1/(1+D_0/D(u,v))^{2n} \tag{12}$$

根据两者之间的相似性,将高通滤波函数稍作修改即可得到对应的巴特沃思高通滤波函数:

$$H(u,v)=(R_h-R_l)/(1+cD_0/D(u,v))^{2n}+R_l \tag{13}$$

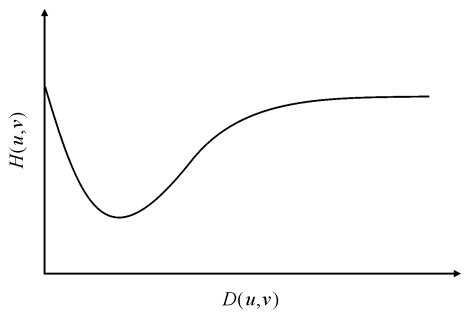

图3 一种常用的同态滤波函数

Fig. 3 A common homomorphic filter function

由于 $R_h>1$,$R_l>1$,这样减小了低频而增强了高频,使图像整体灰度范围被压缩,对比度增强。D_0 的选择与照度函数和反射函数有关,需要大量实际比较来选择合适的值。c 为锐化系数,用来控制滤波器函数斜面的锐化,它在 R_h 和 R_l 之间过渡。

3 同态滤波器参数的选取

由于截止频率 D_0 与照度场和反射系数有关,传统的同态滤波方法只能通过大量实践来选择,费时费力且效果欠佳,通过设计适用的同态滤波器模型并选取恰当的滤波器参数,可以克服这些困难。

在频域,图像的信息表现为不同频率分量的组合。一个图像尺寸为 $M\times N$ 的函数 $f(x,y)$ 的离散傅里叶变换由下式给出:

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\times 2\pi(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})} \tag{14}$$

式中:$u=0,1,2,\cdots,M-1$;$v=0,1,\cdots,N-1$。频谱可表示成:

$$|F(u,v)|=[\mathrm{Re}^2(u,v)+\mathrm{Im}^2(u,v)]^{\frac{1}{2}} \tag{15}$$

式中,$\mathrm{Re}(u,v)$ 和 $\mathrm{Im}(u,v)$ 分别是 $F(u,v)$ 的实部和虚部。计算对应的 D_0 值:

$$D_0=\overline{D}=\frac{1}{MN}\sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1}D(u,v) \tag{16}$$

通过对巴特沃斯高、低通滤波器进行修改可得到带阻滤波函数,该同态滤波函数如图4所示。

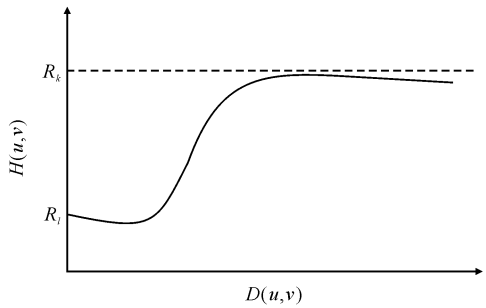

图4 改进的同态滤波函数

Fig. 4 Improved homomorphic filter function

可将带阻滤波函数表示为

$$D(u,v)=1/\left(1+\frac{D(u,v)}{D}\right)^2+1/\left[c\left(1+\frac{D}{D(u,v)}\right)^2\right] \tag{17}$$

$$H(u,v)=(R_h-R_l)\left[\left(1+\frac{D(u,v)}{D}\right)^{-2}+\left[c\left(1+\frac{D}{D(u,v)}\right)^2\right]^{-1}\right]+R_l \tag{18}$$

在相同光照条件下拍摄的图像,通过带阻滤波器滤除该范围内的频率,可得到光照补偿后的图像。

4 实验结果与分析

用高斯巴特沃斯高通滤波器及改进的同态滤波器,基于Matlab软件,采用(13)式和(18)式对原

始图像进行增强处理,效果如图5～图10所示。同态滤波器参数如表1所示。

表1　同态滤波器参数值

Table 1　Homomorphic filter value

方法	R_h	R_l	c
巴特沃斯滤波器	1.2	0.5	0.8
改进的滤波器	2.4	0.5	2.2

图5　原始图像

Fig. 5　Raw image

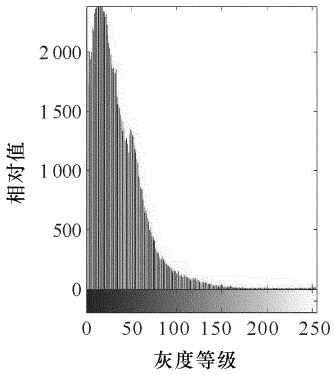

图6　原图灰度直方图

Fig. 6　Original histogram

图7　巴特沃斯滤波

Fig. 7　Butterworth filter

在频域内对同一幅图像分别用巴特沃斯和改进的同态滤波器以Matlab作为工具,运用其自带的函数对图像进行处理,从图5、图7和图9的对比可以看出,两种滤波器都能对图像进行光照补偿,使图像偏亮。在低频增益相同的条件下,虽然都可以将景物内的细节显示出来,但可以看出,巴特沃斯高通滤波反而使得亮处图像(有光线穿过的树间)更加不清晰,采用改进的同态滤波器在光照补偿的同时,图像的亮处被很好地抑制。从经过滤波后的灰度直方图(图6、图8、图10)及巴特沃斯滤波后的整体图像可看出噪声被放大了,增强的效果不很理想,但改进的同态滤波器对比度增强,效果优于巴特沃斯型同态滤波器。

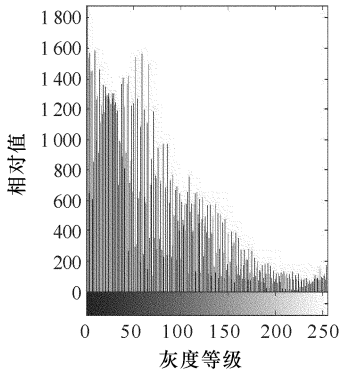

图8　巴特沃斯滤波直方图

Fig. 8　Butterworth histogram

图9　改进的同态滤波

Fig. 9　Improved homomorphic filter

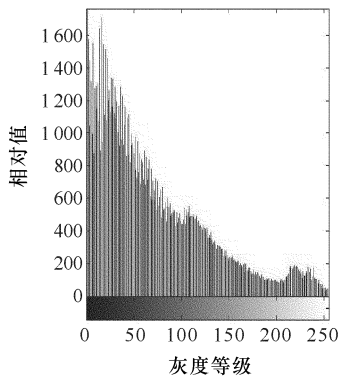

图10　改进的滤波直方图

Fig. 10　Improved histogram

5 结论

从上面的实验结果可以知道,根据巴特沃斯修改而构造的同态滤波器对图像增强效果更为显著,对光照不均匀图像的补偿效果更明显,这些效果可通过Matlab 软件很好地体现出来。从模拟结果可以看出,算法对光照不均匀图像具有较好的增强效果,可较好地抑制图像的亮处,同时突出图像的暗处细节。

参考文献:

[1] 陈春宁,王延杰. 在频域中利用同态滤波增强图像对比度[J]. 微计算机信息,2007,23(6):264-266.
CHEN Chun-ning, WANG Yan-jie. Image contrast enhancement by homomorphic filtering in frequency field[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(6): 264-266. (in Chinese with an English abstract)

[2] 黄剑玲. 利用MATLAB 进行数字图像的分析和处理[J]. 计算机与现代化,2000(6):104-107.
HUANG Jian-ling. Analyses and processing of figure image using MATLAB[J]. Computer and Modernization, 2000(6): 104-107. (in Chinese with an English abstract)

[3] 王宇,龙兴武. 基于小波的不均匀光照的校正[J]. 光学技术,2005,31(5):726-728.
WANG Yu, LONG Xing-wu. Reduce non-uniform illumination with wavelet[J]. Optical Technique, 2005,31(5): 726-728. (in Chinese with an English abstract)

[4] 尹立敏,刘艳滢,顾蕊,等. 一种可控的直方图均衡算法[J]. 微计算机信息,2005,21(26):147-148.
YI Li-min, LIU Yan-ying, GU Rei, et al. A controllable histogram equalization arithmetic[J]. Microcomputer Information, 2005, 21(26): 147-148. (in Chinese with an English abstract)

[5] 张新明,沈兰荪. 基于小波的同态滤波器用对比度增强[J]. 电子学报,2001,29(4):531-533.
ZHANG Xin-ming, SHEN Lan-sun. Image contrast enhancement by wavelet based homomorphic filtering[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(4): 531-533. (in Chinese with an English abstract)

[6] 赵耀宏,史泽林,罗海波,等. 自适应红外图像直方图均衡增强算法[J]. 光电工程,2008,35(3):97-101.
ZHAO Yao-hong, SHI Ze-lin, LUO Hai-bo, et al. Self-adaptive histogram equalization enhancement algorithm for infrared image[J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(3): 97-101. (in Chinese with an English abstract)

[7] 匡海鹏, 王德江, 张景国,等. 基于中值预滤波的航空图像小波去噪算法研究[J]. 应用光学,2010,31(2):221-224.
KUANG Hai-peng, WANG De-jiang, ZHANG Jing-guo, et al. Aerial image wavelet transformation denoising based on medium pre-filtering[J]. Journal of Applied Optics. 2010,31(2):221-224. (in Chinese with an English abstract)